

间作绿肥饲草与减施氮肥对河西绿洲灌区玉米产量和土壤肥力的影响

卢秉林^{1,2}, 包兴国^{1,2}, 张久东^{1,2}, 杨新强^{1,2}, 杨文玉^{1,2}, 李全福^{1,2}, 曹卫东³

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070;
2. 农业部甘肃耕地保育与农业环境科学观测实验站, 甘肃 兰州 730070;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 10008)

摘 要: 通过 3 年定位试验, 在河西绿洲灌区, 研究不同比例减少化学氮肥用量的情况下, 间作针叶豌豆和毛叶苕子 2 种豆科绿肥饲草对玉米产量、经济效益和土壤肥力的影响。结果表明, 间作针叶豌豆时, 施用农民习惯化学施氮量 90% 的效果最好, 虽然该模式下玉米籽粒产量下降了 0.63%, 但是差异不显著, 而且可以多收针叶豌豆籽粒 1 987.34 kg·hm⁻²、针叶豌豆干草 1 374.35 kg·hm⁻², 同时经济效益最高, 为 36 364 元·hm⁻², 高于农民习惯施肥 18.05%。间作毛叶苕子时, 虽然所有化学氮肥减施处理的玉米籽粒产量均低于农民习惯施肥, 但是在施用农民习惯化学施氮量 90% 的情况下减产幅度最低, 只有 2.76%, 达到了 14 263 kg·hm⁻², 与农民习惯施肥处理之间的差异不显著, 而且可以多收毛叶苕子干草 3 175.47 kg·hm⁻², 同时经济效益最高, 为 32 136 元·hm⁻², 高于农民习惯施肥 4.33%。而且这 2 种植体系下的土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量与农民习惯施肥处理之间的差异不显著。可见, 在河西绿洲灌区进行玉米种植时, 间作收获籽粒为主的针叶豌豆和间作以收获豆科饲草为主的毛叶苕子, 均能减少 10% 的化学氮肥用量, 其中间作针叶豌豆的经济效益高于间作毛叶苕子。

关键词: 绿肥饲草; 玉米; 间作; 减施氮肥; 经济效益; 土壤肥力
中图分类号: S513; S551 **文献标志码:** A

Effects of intercropping green manure forages and nitrogen-reduction on corn yield and soil fertility in Hexi Oasis Irrigation

LU Bing-lin^{1,2}, BAO Xing-guo^{1,2}, ZHANG Jiu-dong^{1,2}, YANG Xin-qiang^{1,2},
YANG Wen-yu^{1,2}, LI Quan-fu^{1,2}, CAO Wei-dong³

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving Agricultural, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation and Agriculture Environment (Gansu),
Ministry of Agriculture, Lanzhou, Gansu 730070, China;
3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: To study the effects on corn yield, economic benefit and soil fertility in different proportions nitrogen-reduction by the planting system using two kinds of leguminous green manure forages, needle leaf pea and hairy vetch intercropping corn were employed for duration of three years in Hexi Oasis Irrigation. The results showed that effects from applying 90% of the fertilizer amount that farmers often used were the best in corn/needle leaf pea intercropping system, which though resulted in a corn grain yield loss by 0.63%, not at a significant level. Nevertheless, this helped additional harvests of needle leaf pea grain by 1 987.34 kg·hm⁻² and needle leaf pea hay by 1 374.35 kg·hm⁻². The economic benefits were the highest, reaching 36 364 yuan·hm⁻², 18.05% higher than that of the farmlands farmers often fertilized. Corn grain yields with nitrogen-reduction treatments were all lower than those with often fertilization in corn/hairy vetch intercropping system. But reduction in yield was minimum by only 2.76% less, reaching a yield of 14 263 kg·hm⁻² using 90% of the nitrogen fertilizer farmers often utilized, not at a significant level. This caused additional

harvest of hairy vetch hay by 3 175.47 kg·hm⁻² and the economic benefit was the highest as 32 136 yuan·hm⁻², 4.33% higher than that of the farmlands farmers often fertilized. With these two kinds of planting systems, the contents of soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, available phosphorus and available potassium were not significantly different from those with often fertilizations by farmers. It could be seen that the intercropping systems of corn/needle leaf pea and corn/hairy vetch could reduce 10% of the nitrogen fertilizer use and the economic benefit of the former was higher than that of latter in Hexi Oasis Irrigation.

Keywords: green manure forage; corn; intercropping; nitrogen-reduction; economic benefit; soil fertility

化肥与有机肥配合施用是维持和提高地力,培肥土壤,提高肥料利用率的重要途径。绿肥作为一种重要的有机肥源,近年来的研究报道相对较多,所针对作物涉及玉米^[1-5]、小麦^[6-7]、水稻^[8-9]、棉花^[10]、烟草^[11]、茶叶^[12]、橡胶^[13]、水果^[14]和蔬菜^[15]等。其中关于绿肥在玉米生产过程中的应用研究报道主要集中在我国华北^[1-2]、西南^[3]和西北^[4-5]地区。杨璐^[2]等人的研究表明,在华北地区,化肥与绿肥(二月兰)配施能显著提高春玉米产量,增加地上部总养分量和不同器官养分的累积量,改善养分在不同器官中的分配比例。王劲松^[3]等人的研究表明,在西南地区,氮磷化肥与绿肥(光叶苕子)配合施用,能显著增加土壤有机质含量,改良土壤结构,降低土壤容重,增加土壤速效钾含量,维持土壤钾素平衡。而在西北地区的研究报道主要为本课题组的前期研究成果,研究主要是针对玉米绿肥间作模式下的绿肥(针叶豌豆、毛叶苕子等)翻压还田效果,研究表明,绿肥翻压还田效果要好于根茬还田^[4-5]。为了进一步挖掘玉米绿肥间作种植体系下绿肥根茬部分替代化肥的潜力,保证玉米稳产高产,充分发挥绿肥在农业生产中的积极作用,本研究通过3年的定位试验,在河西绿洲灌区,研究不同比例减少化学氮肥用量的情况下,间作针叶豌豆和毛叶苕子2种豆科绿肥饲草对玉米产量、经济效益和土壤肥力的影响,以期为该种植体系下化肥的合理施用提供理论依据和技术指导。

1 试验材料与方法

试验于2011年—2013年在甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所的武威绿洲农业试验站进行。试验共设12个处理:(1)不施肥+0绿肥(CK);(2)农民习惯施肥+0绿肥(N₁₀₀);(3)95%化学氮肥+针叶豌豆(N₉₅P);(4)90%化学氮肥+针叶豌豆(N₉₀P);(5)85%化学氮肥+针叶豌豆(N₈₅P);(6)80%化学氮肥+针叶豌豆(N₈₀P);(7)0%化学氮肥+针叶豌豆(N₀P);(8)90%化学氮肥+毛叶苕子(N₉₀V);(9)80%化学氮肥+毛叶苕子(N₈₀V);

(10)70%化学氮肥+毛叶苕子(N₇₀V);(11)60%化学氮肥+毛叶苕子(N₆₀V);(12)0%化学氮肥+毛叶苕子(N₀V)。除不施肥处理(CK)外,各处理的施磷量均相同。农民习惯施肥定为100%施肥量,即施N 375 kg·hm⁻²、P₂O₅ 150 kg·hm⁻²,其中N肥30%做基肥,30%拔节期追施,40%大喇叭口期追肥,磷肥作基肥一次性施入。试验设3次重复,36个小区,小区面积21 m²(4.2 m×5.0 m),随机区组排列。

供试玉米品种为武科2号,供试绿肥为土库曼毛叶苕子和陇豌2号针叶豌豆。试验采用宽窄行种植,玉米带宽40 cm,种2行玉米,株距20 cm,播种密度为75 000株·hm⁻²;绿肥带宽80 cm,种植3行绿肥,行距20 cm。玉米于4月下旬播种,10月上旬收获,毛叶苕子和针叶豌豆于3月下旬播种,6月下旬收获(毛叶苕子为盛花期、针叶豌豆为籽粒成熟期),绿肥饲草收获时玉米处于大喇叭口期,它们的共生期约为60 d。收获时各小区单打单收,进行测产。在第3年玉米收获后采集各小区0~20 cm耕层土样,采用常规方法^[16]测定土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾。

试验数据采用Excel 2003和DPS 3.01软件进行整理和统计分析。

2 试验结果与分析

2.1 玉米间作绿肥饲草时的玉米籽粒产量

玉米间作针叶豌豆时(图1),施用农民习惯化学施氮量95%的情况下籽粒产量最高,3年平均为14 777 kg·hm⁻²,高于农民习惯施肥0.74%,而其它处理的玉米籽粒产量相比农民习惯施肥处理均有不同程度的减产,但是施用农民习惯化学施氮量90%时的减产幅度只有0.63%,差异不显著,3年的平均产量达到了14 579 kg·hm⁻²,说明玉米间作针叶豌豆时,在化学氮肥减少10%的情况下玉米籽粒不减产。玉米间作毛叶苕子时(图2),虽然所有还田处理的玉米籽粒产量均低于农民习惯施肥,但是在施用化学氮肥90%时的玉米籽粒产量与农民习惯施肥处理之间的差异不显著,产量达到了14 263 kg·

hm⁻²,减减幅度只有 2.76%,说明玉米间作毛叶苕子同样可以减少 10%的化学氮肥用量。这主要是玉米与所间作豆科绿肥饲草之间的互利作用和营养异质效应共同作用的结果,由于玉米和豆科绿肥饲草的根系深浅不同,间作后可以吸收不同土层空间的水分和养分,互不妨碍,各得其所;同时豆科绿肥饲草的根系分泌物和从空气中固定的氮素可为玉米

提供一部分养分,而玉米把豆科绿肥饲草固定的部分氮素吸收利用后又刺激和促进了豆科绿肥饲草的固氮作用;而且从第二年开始,前茬所间作豆科绿肥饲草收获后残留的地下根系部分分解后还可为下茬玉米的生长发育提供一定的养分,所以,在减施一定化学氮肥的情况下可使玉米不减产。而且间作针叶豌豆的效果要好于毛叶苕子。

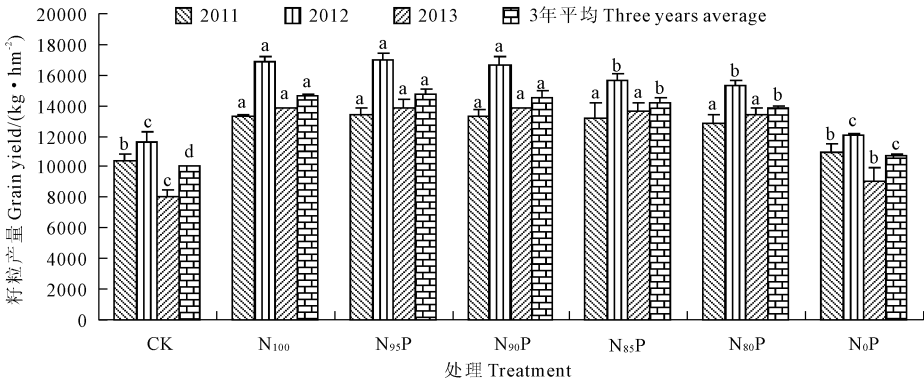


图 1 玉米间作针叶豌豆时的玉米籽粒产量

Fig.1 Corn grain yields in corn/needle leaf pea intercropping system

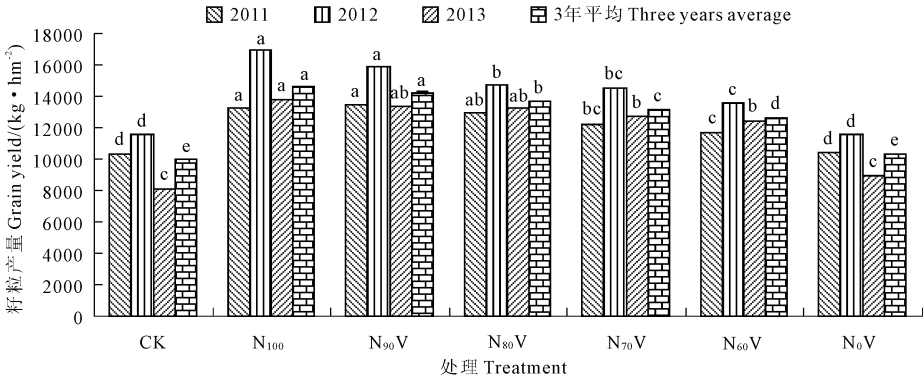


图 2 玉米间作毛叶苕子时的玉米籽粒产量

Fig.2 Corn grain yields in corn/hairy vetch intercropping system

2.2 玉米间作绿肥饲草时的绿肥干草产量

玉米间作针叶豌豆时(图 3),在化学氮肥减少 5%~20%的情况下,3年内针叶豌豆平均干草产量为 1 250.34~1 374.35 kg·hm⁻²,显著高于不施氮肥处理,其中在玉米不减产的施氮水平下(90%的施氮量),针叶豌豆的干草产量最高,为 1 374.35 kg·hm⁻²。玉米间作毛叶苕子时(图 4),在化学氮肥减少 10%~40%的情况下,平均每年可多收毛叶苕子干草 3 175.47~3 393.38 kg·hm⁻²,其中在化学氮肥减少 40%的情况下,毛叶苕子的干草产量最高,为 3 393.38 kg·hm⁻²。而在玉米不减产的施氮水平下(90%的施氮量),毛苕子的干草产量为 3 175.47 kg·hm⁻²。

2.3 玉米间作针叶豌豆时的绿肥籽粒产量

玉米间作针叶豌豆时(图 5),在化学氮肥减少 5%~20%的情况下,可年均多收针叶豌豆籽粒 1 526.84~2 044.38 kg·hm⁻²,而且 3 年内的平均针叶豌豆籽粒产量随化学施氮量的减少而增加,其中以施 80%化学氮肥的针叶豌豆产量最高,3 年的平均产量可达 2 044.38 kg·hm⁻²。

2.4 玉米间作绿肥饲草 3 年后的土壤养分

由表 2 可以看出,在不同比例减少化学氮肥用量的情况下,无论是间作针叶豌豆,还是间作毛叶苕子,3年后对土壤有机质的提升效果均不明显,各处理间的差异不显著。但是在化学氮肥用量减少 5%~10%的情况下间作针叶豌豆和在化学氮肥用量减

少 10% ~ 30% 的情况下间作毛叶苕子, 土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾与农民习惯施肥处理之间的差异不显著。说明在化学氮肥减少 10% 的情况下间作针叶豌豆和在化学氮肥减少 10% ~ 30% 的情况下间作毛叶苕子后的土壤肥力水平与农民习惯施肥相当。

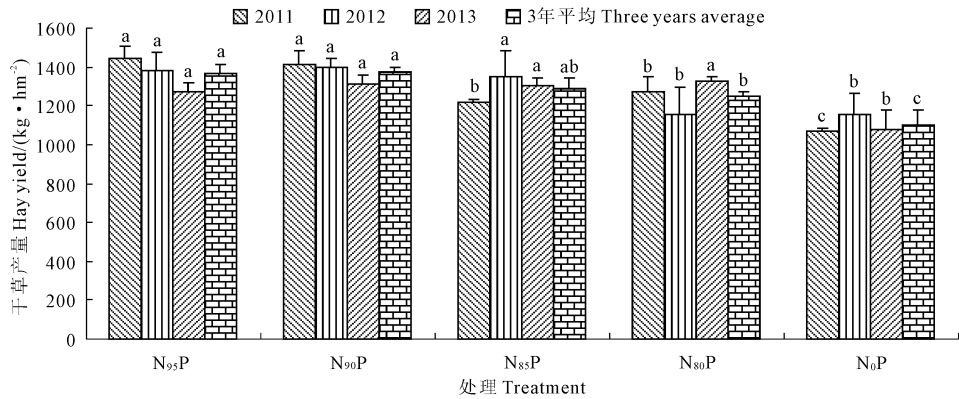


图 3 玉米间作针叶豌豆时的绿肥干草产量

Fig.3 Green manure hay yields in corn/needle leaf pea intercropping system

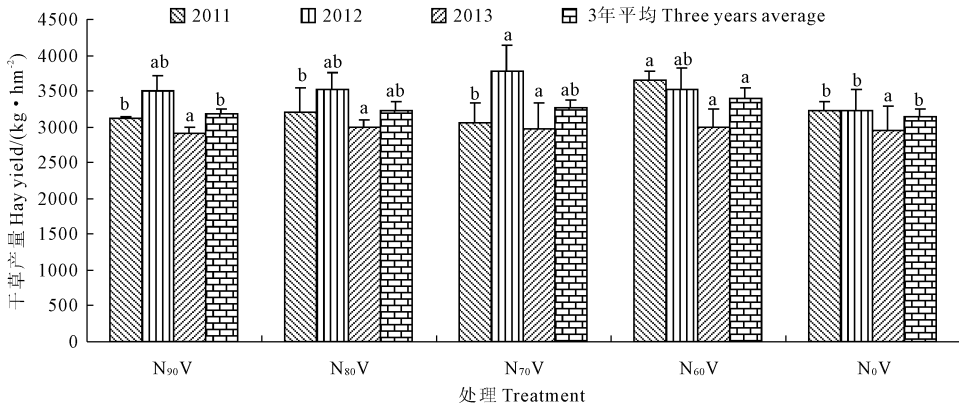


图 4 玉米间作毛叶苕子时的绿肥干草产量

Fig.4 Green manure hay yields in corn/hairy vetch intercropping system

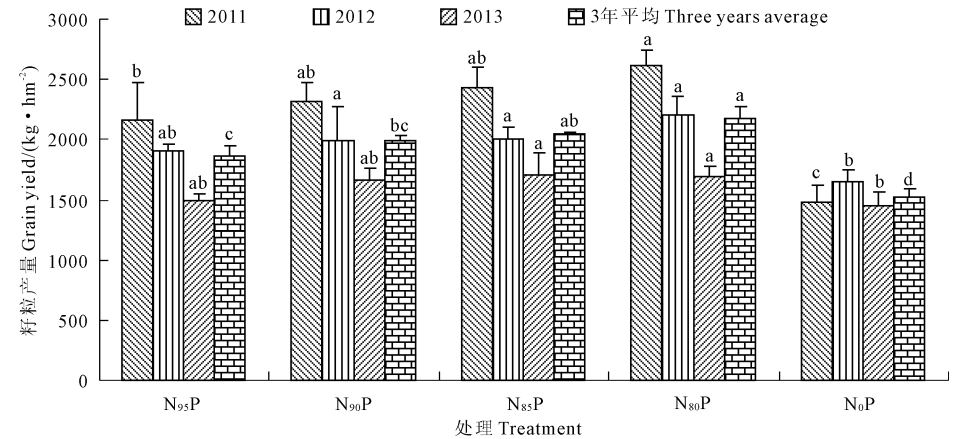


图 5 玉米间作针叶豌豆时的绿肥籽粒产量

Fig.5 Green manure grain yields in corn/needle leaf pea intercropping system

2.5 玉米间作绿肥饲草时的经济效益

由表 2 可以看出,无论是玉米间作针叶豌豆,还是玉米间作毛叶苕子,均能增加作物的经济效益,而

且间作针叶豌豆的经济效益要高于间作毛叶苕子,其中以施用 90% 化学氮肥时间作针叶豌豆的经济效益最高,为 36 364 元·hm⁻²,相比农民习惯施肥提

高 18.05%。间作毛叶苕子时同样以施用 90% 化学氮肥水平的经济效益最高,为 32 136 元·hm⁻²,相比农民习惯施肥提高 4.33%。在实际操作过程中,玉米间作绿肥饲草并不影响玉米的常规种植和收获作

业,虽然增加了绿肥种子投入和劳动成本,但是提高了作物产出,培肥了地力,减少了化学氮肥用量,降低了环境污染,提高了作物的经济效益,值得推广。

表 1 玉米间作绿肥饲草 3 年后的土壤养分						
Table 1 Soil nutrients in corn/green manure forage intercropping system after three years						
序号 Number	处理 Treatment	有机质 OM /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P ₂ O ₅ /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K ₂ O /(mg·kg ⁻¹)
1	CK	20.619a	1.226b	57.097b	29.546d	179.081c
2	N ₁₀₀	21.427a	1.292a	76.524a	63.671a	189.844ab
3	N ₉₅ P	21.591a	1.289a	80.352a	58.631ab	193.713a
4	N ₉₀ P	21.226a	1.293a	77.952a	58.325ab	190.016ab
5	N ₈₅ P	20.982a	1.266ab	73.536a	56.418bc	184.172abc
6	N ₈₀ P	21.023a	1.241ab	63.396b	55.081bc	183.106bc
7	N ₀ P	20.892a	1.229b	57.727b	50.619c	181.466bc
1	CK	20.619a	1.226b	57.097c	29.546c	179.081c
2	N ₁₀₀	21.427a	1.292a	76.524ab	63.671a	189.844ab
8	N ₉₀ V	21.551a	1.306a	81.943a	62.984a	193.076a
9	N ₈₀ V	21.355a	1.302a	80.870a	62.640a	192.13a
10	N ₇₀ V	21.261a	1.281ab	76.109ab	62.182a	185.460abc
11	N ₆₀ V	21.054a	1.256ab	74.654b	57.602ab	182.077bc
12	N ₀ V	20.980a	1.230b	73.033b	55.082b	180.845c

表 2 玉米间作绿肥饲草时的经济效益/(元·hm ⁻²)																			
Table 2 Economic benefits in corn/ green manure forage intercropping system																			
序号 Number	处理 Treatment	2011 年产值 2011 output value			2012 年产值 2012 output value			2013 年产值 2013 output value			3 年平均年产值 Three-year average annual output value			年均新增成本 Annual increase cost			3 年平均 新增纯 收益 Three- year average increase net income	较农民习惯施肥 Compare with farmer often fertilize	
		玉米 Corn	绿肥 Green manure	合计 Total	玉米 Corn	绿肥 Green manure	合计 Total	玉米 Corn	绿肥 Green manure	合计 Total	玉米 Corn	绿肥 Green manure	合计 Total	绿肥 种子 Green manure seed	劳工 Labor	化肥 Chemical fertilizer		增值 Increase revenue	增幅 Increase extent /%
1	CK	21721	0	21721	24385	0	24385	16932	0	16932	21013	0	21013	0	0	- 2804	23817	- 6987	- 22.68
2	N ₁₀₀	27891	0	27891	35498	0	35498	29021	0	29021	30803	0	30803	0	0	0	30803	0	0
3	N ₉₅ P	28228	8216	36444	35696	7381	43077	29173	6031	35204	31032	7337	38369	600	1500	- 87	36356	5553	18.03
4	N ₉₀ P	27823	8634	36457	35008	7647	42655	29015	6553	35568	30615	7676	38291	600	1500	- 173	36364	5561	18.05
5	N ₈₅ P	27712	8740	36452	32861	7632	40493	28523	6678	35201	29699	7800	37499	600	1500	- 260	35659	4856	15.76
6	N ₈₀ P	26933	9382	36315	32067	7975	40042	28175	6681	34856	29059	8052	37111	600	1500	- 347	35357	4554	14.79
7	N ₀ P	23088	5723	28811	25353	6332	31685	19023	5641	24664	22488	6480	28968	600	1500	- 1733	28600	- 2203	- 7.15
8	N ₉₀ V	28289	3746	32035	33473	4200	37673	28093	3486	31579	29952	3811	33763	300	1500	- 173	32136	1333	4.33
9	N ₈₀ V	27213	3836	31049	30930	4227	35157	27843	3589	31432	28662	3884	32546	300	1500	- 347	31092	289	0.94
10	N ₇₀ V	25617	3674	29291	30440	4533	34973	26728	3554	30282	27595	3920	31515	300	1500	- 520	30235	- 568	- 1.84
11	N ₆₀ V	24597	4376	28973	28602	4240	32842	26151	3600	29751	26450	4072	30522	300	1500	- 693	29415	- 1388	- 4.51
12	N ₀ V	21914	3863	25777	24365	3880	28245	18813	3531	22344	21697	3758	25455	300	1500	- 1733	25388	- 5415	- 17.58

注:玉米籽粒 2.1 元·kg⁻¹;针叶豌豆秸秆 1.2 元·kg⁻¹、籽粒 3.0 元·kg⁻¹、种子 4.0 元·kg⁻¹;毛苕子秸秆 1.2 元·kg⁻¹、种子 10.0 元·kg⁻¹;绿肥种收劳工费 1 500.0 元·hm⁻²;化肥 N 4.62 元·kg⁻¹、P₂O₅ 7.14 元·kg⁻¹。

Note: Corn grain 2.1 yuan·kg⁻¹; Needle leaf pea straw 1.2 yuan·kg⁻¹; Grain 3.0 yuan·kg⁻¹; Seed 4.0 yuan·kg⁻¹; Hairy vetch straw 1.2 yuan·kg⁻¹; seed 10.0 yuan·kg⁻¹; Labor cost of green manure sowing and harvesting 1 500.0 yuan·hm⁻²; Chemical fertilizer N 4.62 yuan·kg⁻¹; P₂O₅ 7.14 yuan·kg⁻¹.

3 结 论

1) 玉米间作针叶豌豆时,施用农民习惯化学施氮量 90%的效果最好,虽然该模式下玉米籽粒产量下降了 0.63%,但是差异不显著,而且可以多收针叶豌豆籽粒 $1\,987.34\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、针叶豌豆干草 $1\,374.35\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,同时经济效益最高,为 $36\,364\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$,高于农民习惯施肥 18.05%。

2) 玉米间作毛叶苕子时,虽然所有化学氮肥减施处理的玉米籽粒产量均低于农民习惯施肥,但是在施用农民习惯化学施氮量 90%的情况下减产幅度最低,只有 2.76%,达到了 $14\,263\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,与农民习惯施肥处理之间的差异不显著,而且可以多收毛叶苕子干草 $3\,175.47\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,同时经济效益最高,为 $32\,136\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$,高于农民习惯施肥4.33%。

3) 在农民习惯化学氮肥用量减少 5%~10%的情况下间作针叶豌豆和在农民习惯化学氮肥用量减少 10%~30%的情况下间作毛叶苕子时,土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量与农民习惯施肥处理之间的差异不显著。

可见,在河西绿洲灌区进行玉米种植时,间作收获籽粒为主的针叶豌豆和间作以收获豆科饲草为主的毛叶苕子,均能替代 10%的化学氮肥用量,值得推广,其中间作针叶豌豆的经济效益高于间作毛叶苕子。

参 考 文 献:

[1] 赵 秋,高贤彪,宁晓光,等.华北地区春玉米-冬绿肥轮作对碳、氮蓄积和土壤养分以及微生物的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):1005-1011.

[2] 杨 璐,曹卫东,白金顺,等.种植翻压二月兰配施化肥对春玉

米养分吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):799-807.

[3] 王劲松,戴茨华,徐 红,等.红壤连续施用绿肥和有机肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2012,(5):27-30.

[4] 王 婷,包兴国,胡志桥.河西绿洲灌区玉米间作绿肥高效种植模式研究[J].甘肃农业科技,2010,(8):3-6.

[5] 张久东,包兴国,曹卫东,等.间作绿肥作物对玉米产量和土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2013,(4):43-47.

[6] 李 婧,张达斌,王 峥,等.施肥和绿肥翻压方式对旱地冬小麦生长及土壤水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):136-142.

[7] 包兴国,杨文玉,曹卫东,等.豆科与禾本科绿肥饲草作物混播增肥及改土效果研究[J].中国草地学报,2012,34(1):43-47.

[8] 李继明,黄庆海,袁天佑,等.长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(3):563-570.

[9] 杨滨娟,黄国勤,王 超,等.稻田冬种绿肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(10):1209-1216.

[10] 李燕青,孙文彦,许建新,等.黄淮海地区绿肥与化肥配施对棉花生长期和肥料利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):1398-1404.

[11] 刘国顺,李 正,敬海霞,等.连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1472-1478.

[12] 林新坚,黄东风,李卫华,等.施肥模式对茶叶产量、营养累积及土壤肥力的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(2):151-157.

[13] 杨春霞,赵志平,杨丽萍,等.不同覆盖绿肥养分特性及其对橡胶园土壤理化性质的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(2):467-474.

[14] 盛良学,黄道友,夏海鳌,等.红壤橘园间作经济绿肥的生态效应及对柑橘产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):677-679.

[15] 陈 娇,吴良欢.两种野生绿肥对小白菜生长和营养品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(3):625-630.

[16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.

(上接第 105 页)

[7] 汪良驹,姜卫兵,高光林,等.幼年梨树品种光合作用的研究[J].园艺学报,2005,32(4):571-577.

[8] 王金政,张安宁,单守明.3个设施或露地栽培常用杏品种光合特性的研究[J].园艺学报,2005,32(6):980-984.

[9] 刘文海,高东升,束怀瑞.不同光强处理对设施桃树光合及荧光特性的影响[J].中国农业科学,2006,39(10):2069-2075.

[10] 赵德英,吕德国,刘国成,等.冷凉气候区‘寒富’苹果及其亲本

光合特性的研究[J].园艺学报,2009,36(7):945-952.

[11] 钱莲文,张新时,杨智杰,等.几种光合作用响典型模型比较研究[J].武汉植物学研究,2009,27(2):197-203.

[12] 窦春蕊,吴万兴,李文华,等.黄土高原地区3个大扁杏品种的光合特性日变化研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):93-97.

[13] 许大全.光合作用效率[M].上海:上海科学技术出版社,2002.